

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.09.010

化学发泡注塑工艺对 PA6 / GF 微发泡材料结构与力学性能的影响

王滨, 蒋顶军

(南京聚隆科技股份有限公司, 南京 210000)

摘要: 利用化学发泡注塑方法制备了车用玻璃纤维增强尼龙 6 (PA6 / GF) 微发泡材料, 首先研究了偶氮二甲酰胺发泡剂母粒含量对微发泡材料泡孔形态及其制件表观质量和密度的影响, 发现发泡剂母粒质量分数不超过 2% 时可获得泡孔形态及表观质量较好的发泡制件, 当发泡剂母粒质量分数为 2% 时, 制件密度减小了 18.1%。进一步研究了注塑工艺参数对 PA6 / GF 微发泡材料泡孔形态、制件密度以及材料力学性能的影响。结果表明, 适当提高注塑温度有利于优化泡孔孔径, 降低制件密度, 提高材料力学性能, 但当注塑温度超过 260℃ 后, 易破坏泡孔形态, 并使拉伸强度和弯曲弹性模量下降; 注塑压力不宜超过 80 MPa, 否则会导致泡孔形态变差, 力学性能下降明显; 适当提高注射速度可提高泡孔均匀性及材料弯曲弹性模量, 但对制件密度影响较小; 调整模具温度在 60~70℃ 时, 有利于进一步提高 PA6 / GF 微发泡材料的力学性能及减重效果。PA6 / GF 微发泡材料成型最佳工艺参数为注塑温度 260℃, 注塑压力 80 MPa, 注射速度 90 mm/s, 模具温度 70℃, 同时发泡剂母粒最佳质量分数为 2%。

关键词: 尼龙 6; 玻璃纤维; 微发泡材料; 化学发泡; 注塑工艺; 泡孔形态; 力学性能

中图分类号: TQ328 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)09-0053-07

Effects of Chemical Foaming Injection Process on Structure and Mechanical Properties of Nylon6 Microcellular Material Reinforced by Glass Fiber

Wang Bin, Jiang Dingjun

(Nanjing Julong Science & Technology Co. Ltd., Nanjing 210000, China)

Abstract : The nylon (PA) 6 / glass fiber (GF) micro-cellular material used for automobile was prepared by chemical foaming injection method, and the effects of azodicarbonamide foaming agent masterbatch content on the cell morphology, part apparent quality and density of the micro-cellular material were studied. It is found that, when the mass fraction of the foaming agent masterbatch is not more than 2%, a foaming part with good cell morphology and apparent quality is gained, the density decreases by 18.1% when the mass fraction of the foaming agent masterbatch is 2%. The influences of injection process parameters on the cell morphology, density and mechanical properties of the micro-cellular material were studied further. The results show that, improving injection temperature properly can optimize the cell size, decrease the density and improve the mechanical properties, but when the injection temperature is above 260℃, the cell morphology is destroyed and the tensile strength and flexural modulus are reduced. Injection pressure should not exceed 80 MPa, or the cell morphology becomes worse and the mechanical properties decrease obviously. Improving injection speed properly can increase the cell uniformity and flexural modulus, but has slight influence on the density. The mould temperature at 60-70℃ is benefit to improve the mechanical properties and weight reduction effect of the micro-cellular material further. The optimum injection processing parameters of PA6 / GF micro-cellular material are that, the injection temperature is 260℃, injection pressure is 80 MPa, injection speed is 90 mm/s and mould temperature is 70℃, meanwhile, the optimal mass fraction of the foaming agent masterbatch is 2%.

Keywords : nylon6 ; glass fiber ; micro-cellular material ; chemical foaming ; injection process ; cell morphology ; mechanical property

通讯作者: 王滨, 博士, 主要从事汽车轻量化材料研究 E-mail: polymerwb@126.com

收稿日期: 2018-07-12

引用格式: 王滨, 蒋顶军. 化学发泡注塑工艺对 PA6 / GF 微发泡材料结构与力学性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(9):53-59.

Wang Bin, Jiang Dingjun. Effects of chemical foaming injection process on structure and mechanical properties of nylon6 microcellular material reinforced by glass fiber[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(9):53-59.

在汽车塑料用料中,尼龙(PA)材料一直占据很重要位置,并且每年以2.2%~2.8%的速度增长。玻璃纤维(GF)增强PA材料被广泛应用于汽车各结构部件,比如底盘系统、后视镜系统、前端框架、发动机进气歧管等^[1-5]。随着汽车轻量化趋势发展,PA部件的轻量化已经成为重要的研究方向^[6-9]。

微发泡材料技术以其独有芯层发泡、表层致密的三明治结构,可以在尽可能减少性能损耗的前提下,显著减轻制件的质量,缩短注塑周期,减少材料用量,降低生产成本^[10-13]。对于壁厚差异较大、结构对称性好的制品,例如门板等,还具有特殊成型的优越性^[14-16]。关于PA微发泡材料,已经有一部分研究。例如,J. Peng等^[17]利用挤出方法研究了PA6/赛璐璐微发泡材料;何孟文等^[18]利用化学发泡挤出法制备了PA/低密度聚乙烯微发泡材料;Zheng Wenge等^[19]和H. Shyhshin等^[20]利用超临界气体法制备PA微发泡材料。相对于其它方法,化学发泡注塑法将材料化学发泡与制件注射成型同时进行,可以直接得到微发泡制件,从而节省工序,降低成本。然而,目前对化学发泡注塑法制备车用PA6/GF微发泡材料的研究较少,由于发泡剂的含量直接决定微发泡产品内部的泡孔形态,而泡孔形态对产品外观质量有着重要的影响,因此笔者首先研究了发泡剂母粒对PA6/GF微发泡材料形态与结构的影响,以确定适宜的发泡剂母粒含量,然后探讨注塑工艺对PA6/GF微发泡材料泡孔形态、结构以及力学性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PA6:S2700,住友电木有限公司;

马来酸酐接枝乙烯-辛烯共聚物弹性体(POE-g-MAH):NMN493D,陶氏杜邦公司;

GF:988A,单丝长度4.5 mm,直径约12 μm ,中国巨石股份有限公司;

发泡剂母粒:偶氮二甲酰胺为主要成分,发气量40 mL/g,自制;

抗氧化剂1098、发泡活化剂硬脂酸锌:市售;

润滑剂:MB50-001,道康宁(中国)有机硅有限公司。

1.2 主要设备及仪器

同向双螺杆挤出机:SHJ-40B型,南京杰恩特机电有限公司;

单螺杆注塑机:HTF-160T型,海天塑料机械有

限公司;

光学显微镜:Dino-Lite AM7013MZT型,AnMo Electronics公司;

密度仪:XS104型,梅特勒-托利多公司;

电子万能试验机:RG M-3010型,瑞格尔公司。

1.3 试样制备

将PA6、增韧剂POE-g-MAH和GF以及抗氧化剂、发泡活化剂、润滑剂按质量比63.5:5:30:0.5:0.5:0.5放入高速混合机中混合3~4 min;将上述混合物通过挤出机料斗直接加入到双螺杆挤出机中造粒备用,其中,挤出机料筒温度设置为230~260℃,转速600 r/min;将发泡剂母粒与制备好的PA6/GF复合材料按一定配比放入注塑机中,注塑成盘状微发泡制件,其直径为27 cm,平均厚度为2 mm,同时,按照相关标准注塑标准试样。

1.4 测试与表征

(1) 泡孔形态表征

采用光学显微镜,将其镜头部分对准微发泡试样横截面进行观察并拍照。放大倍数设置为50倍。

(2) 密度测试

采用密度测试仪,按ISO 1183-2004标准,采用浸渍法测量盘状制件的密度,并记录数据。

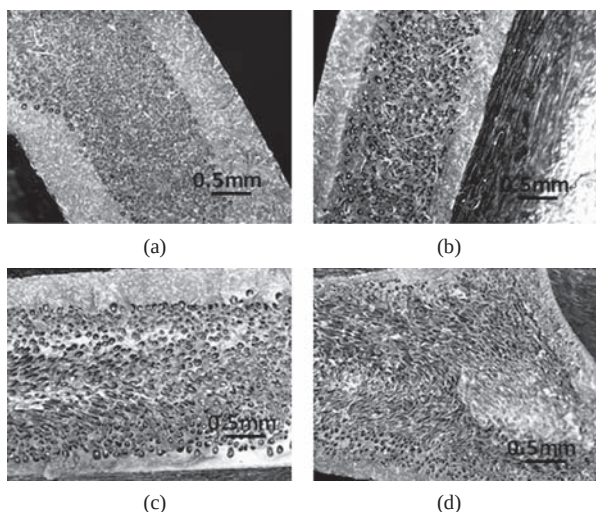
(3) 力学性能测试

拉伸强度按ISO 527-2012测试,测试速度50 mm/min;弯曲弹性模量按ISO 178测试,测试速度2 mm/min。

2 结果与讨论

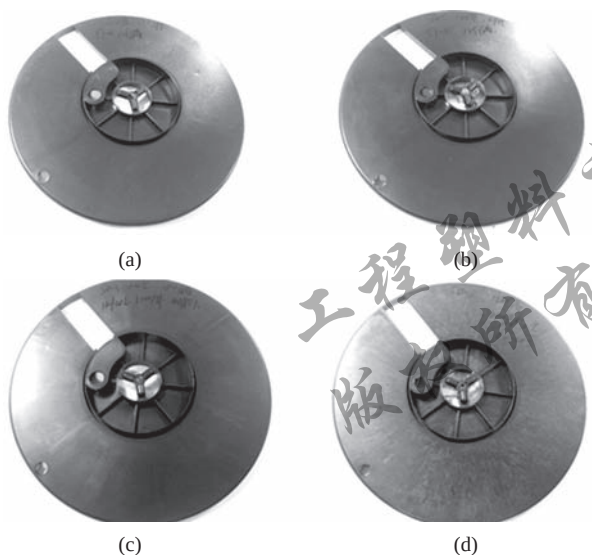
2.1 发泡剂母粒含量对微发泡材料结构的影响

图1为不同发泡剂母粒含量的PA6/GF微发泡盘状制件边缘横截面的泡孔形态,图2和表1为对应的制件外观质量及密度。从图1可以看出,发泡剂母粒质量分数为0.5%时,泡孔全为闭孔状态,孔径小,泡孔密度高,芯层泡孔细腻,表皮致密且较厚,同时产品表面质量好,如图2a所示。这主要与气体含量及在PA基体中的溶解度有关。当发泡剂母粒含量低时,产生气体量少,低于氮气在PA中的溶解度。此时,气体在螺杆形成的高温高压环境下,可在聚合物熔体中分散均匀,甚至达到分子级溶解。当这种含有气体的熔体混合物经过注射喷嘴瞬间泄压时,气体与PA复合材料熔体发生相分离,气泡成核率高。因此,制件表现出芯层泡孔均匀细腻,表皮致密的特点,其外观质量也变好。但此时密度下降仅在4%以内(见表1),对制件减重的贡献并不大。



发泡剂母粒质量分数: a—0.5%; b—1%; c—2%; d—3%

图1 不同发泡剂母粒含量的 PA6 /GF 微发泡制件横截面泡孔形态



发泡剂母粒质量分数: a—0.5%; b—1%; c—2%; d—3%

图2 不同发泡剂母粒含量的 PA6 /GF 微发泡制件外观质量

表1 不同发泡剂母粒含量的 PA6 /GF 微发泡制件饱满程度及密度

项 目	发泡剂母粒质量分数 / %				
	0	0.5	1	2	3
饱满程度	可注满	可注满	可注满	可注满	可注满
密度 / (g · cm ⁻³)	1.38	1.33	1.21	1.13	1.06

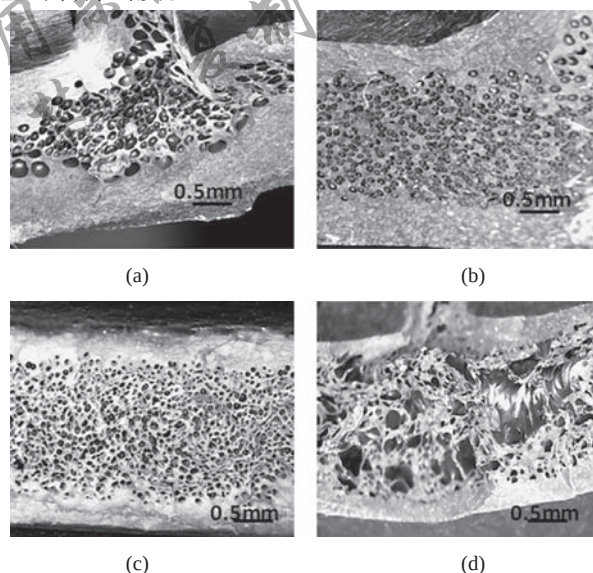
随发泡剂母粒含量增加,气体产生量增加,泡孔孔径逐渐增大,制件密度大幅下降,见表1。当发泡剂母粒质量分数为2%时,密度降至1.13 g/cm³,降幅达到18.1%,减重效果显著。同时,泡孔封闭率高,孔径相对均匀,且泡孔密度高,制件外观质量较好,基本无注塑缺陷,如图2c所示。当发泡剂母粒质量分数超过2%后,虽然此时材料密度进一步下降,但气泡均匀程度明显变差,并孔、破孔等现象逐渐显露,如图1d所示,说明此时材料熔体中的

气体量已经超过其在材料中的溶解度。当发泡剂分解后,部分不被溶解的气体自始至终均以热力学不稳定状态存在,极易造成体系中破孔、穿孔现象增加,当气体浮于产品表面时,就会产生大量缺陷,例如气痕、皱皮等,如图2d所示,严重影响产品外观和成品合格率。综上所述,在PA6 /GF微发泡材料中,发泡剂母粒质量分数不应超过2%。

2.2 注塑温度对微发泡材料结构及力学性能影响

(1) 注塑温度对泡孔形态和密度的影响。

对化学发泡注塑法微发泡材料来说,温度主要影响两个过程,气体产生以及泡孔发展过程。对于前者,主要与化学发泡剂的分解温度有关,后者直接影响最终产品性能、外观质量以及减重比例等重要指标。固定注射压力70 MPa,注射速度90 mm/s,冷却时间3 s,研究了注塑温度对PA6 /GF微发泡制件泡孔形态的影响,结果如图3所示,表2列出对应的制件密度。



注塑温度: a—240℃; b—250℃; c—260℃; d—270℃

图3 不同注塑温度的 PA6 /GF 微发泡制件横截面泡孔形态

表2 不同注塑温度的 PA6 /GF 微发泡制件饱满程度及密度

项 目	注塑温度 / °C			
	240	250	260	270
产品饱满程度	可注满	可注满	可注满	可注满
密度 / (g · cm ⁻³)	1.23	1.15	1.14	1.07

由图3可以看出,注塑温度较低(240℃)时,制件截面泡孔孔径均匀性较差且泡孔孔径较大,泡孔密度低,主要原因是温度过低,PA材料塑化均匀性差,甚至塑化不完全,导致气体在其中的溶解度下降,无法形成足够气核,最终形成的泡孔量少且孔径较大。另外,表2显示,注塑温度为240℃时的制件

密度相对较高,说明在发泡注塑过程中有可能部分气体逃逸消耗。随着注塑温度升高,PA材料塑化完全,气体在PA材料中的溶解度趋于正常,芯层泡孔孔径减小,均匀性明显改善,材料密度下降明显,说明气体保留量上升,减重效果明显。当注塑温度超过260℃后,制件的截面泡孔结构遭到破坏,破孔穿孔多,这主要归因于温度过高,气体受热急剧膨胀,在PA材料中的溶解度下降,这种过热气体导致PA材料局部熔体强度骤降,无法满足包裹气体要求,进而气体从泡孔中逃逸或泡孔合并,从而使泡孔形态变差。

(2) 注塑温度对力学性能的影响。

图4为不同注塑温度的PA6/GF微发泡材料的力学性能。由图4可以看出,随注塑温度的升高,PA6/GF微发泡材料的拉伸强度和弯曲弹性模量表现出先增加后降低的趋势,以260℃为分界,超过之后,强度和模量下降显著,这与微发泡材料中的泡孔形态关系密切。正如图3所示,当注塑温度低于260℃时,泡孔形态完整,闭孔率高,因而微发泡材料的强度、模量均较高。

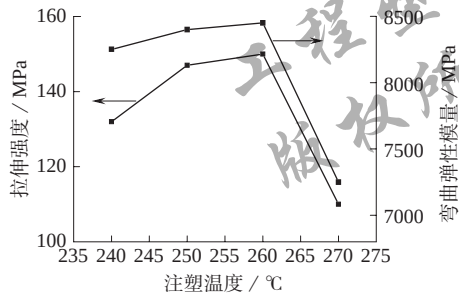


图4 不同注塑温度的PA6/GF微发泡材料力学性能

2.3 注塑压力对微发泡材料结构及力学性能影响

(1) 注塑压力对泡孔形态和密度的影响。

在注塑过程中,注塑压力的作用是克服塑料从料筒流向型腔的阻力,给予熔体充模的速率以及对熔体进行压实。为了保证制件的质量,对注塑压力有一定要求,因此固定注塑温度为260℃,注射速度为90 mm/s,冷却时间为3 s,研究了注塑压力对PA6/GF微发泡制件泡孔形态的影响,结果如图5所示,表3列出对应的制件密度。可以发现,当注塑压力不超过80 MPa时,发泡制件内部芯层泡孔均匀性较好,密度也较高,随着注塑压力增加,孔径及其均匀性差别不大,皮层厚度变化不大,同时,密度下降也不明显;然而当压力超过80 MPa之后,制件密度下降明显,通过对制件截面泡孔形态观察发现(见图5),此时气泡已经变得不均匀,有的被拉长,

并伴有大气孔现象产生。原因可能是,适当的注塑压力在注胶口与模内腔之间提供了适宜的压力差,有利于气泡成核和生长;但当压力降过高时,则会致使气泡生长速率不均性增加,甚至发生破孔、并孔等现象,发泡不均性增加。

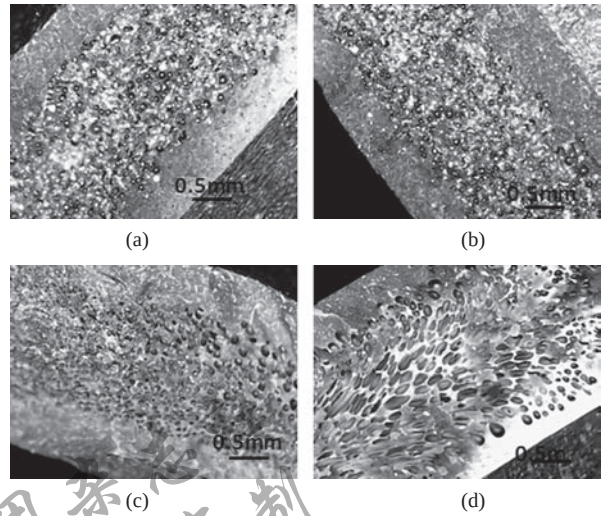


图5 不同注塑压力的PA6/GF微发泡制件横截面泡孔形态

表3 不同注塑压力的PA6/GF微发泡制件饱满程度及密度

项 目	注塑压力 / MPa				
	50	60	70	80	90
注满情况	可注满	可注满	可注满	可注满	可注满
密度 / (g · cm ⁻³)	1.16	1.14	1.15	1.14	1.09

(2) 注塑压力对力学性能的影响。

图6为不同注塑压力的PA6/GF微发泡材料的力学性能。

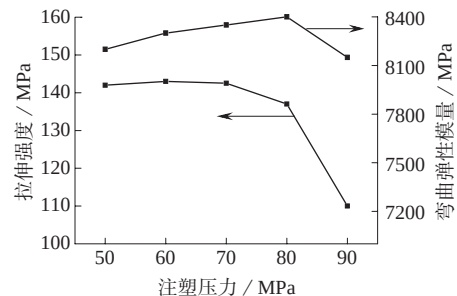


图6 不同注塑压力的PA6/GF微发泡材料力学性能

由图6所示,随注塑压力增加,PA6/GF微发泡材料拉伸强度先基本不变,然后逐渐下降,尤其是超过80 MPa以后,下降明显。原因可能是,低于80 MPa时,发泡产品内部芯层泡孔孔径、均匀性以及皮层厚度变化不大,对其拉伸强度影响较小,超过80 MPa后,泡孔形态出现扭曲变形,甚至并孔,因此产生缺陷,造成PA6/GF微发泡材料拉伸性能下降严重。对于微发泡材料弯曲弹性模量,在注射压力达到80 MPa以前,其随注塑压力增加而有所上

升,当注塑压力超过 80 MPa 后,模量开始下降,这可能与未破孔或并泡的泡孔壁的支撑作用有关。综上所述,从发泡材料的皮芯层泡孔形态、泡孔密度、泡孔均匀性以及力学性能来看,PA6 /GF 微发泡材料的注射压力宜选 60~80 MPa。

2.4 注射速度对微发泡材料结构及力学性能影响

(1) 注射速度对泡孔形态和密度的影响。

固定注塑温度为 260℃,注塑压力为 80 MPa,冷却时间为 3 s,研究了注射速度对 PA6 /GF 微发泡制品泡孔形态的影响,结果如图 7 所示,表 4 列出对应的制品密度。

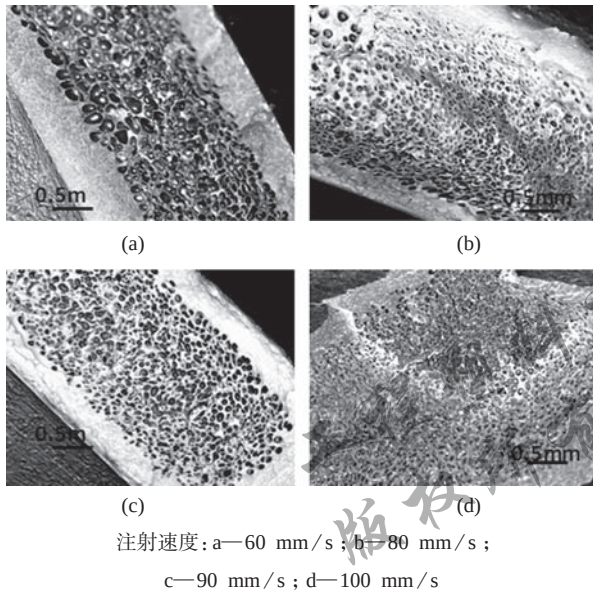


图 7 不同注射速度的 PA6 /GF 微发泡制品横截面泡孔形态

表 4 不同注射速度的 PA6 /GF 微发泡制品饱满程度及密度

项 目	注射速度 / (mm · s ⁻¹)				
	40	60	80	90	100
注满情况	注不满	可注满	可注满	可注满	可注满
密度 / (g · cm ⁻³)	1.16	1.15	1.15	1.13	1.15

实验结果表明,当注射速度小于 40 mm/s 时,模腔注不满,产品缺胶严重,至 60 mm/s 以上,产品正常可注满(见表 4)。从图 7 可知,随着注射速度的提升,泡孔闭孔率明显提高,泡孔直径逐渐减小,且更加均匀。原因可能是,提高注射速度,即在更短的时间内实现原有的注胶口到模内腔的压力降,提高了单位时间内的有效压力降,这有利于气泡成核和生长,尤其可使更多的泡核形成,进而形成更小孔径的气泡,同时,还可以提高气体保留率。然而,另一方面,对于制品减重效果来讲,如表 4 所示,其密度基本保持不变,说明改变注射速度虽然有利于优化 PA /GF 微发泡材料的泡孔形态,但不能使其产生显著减重效果。

(2) 注射速度对力学性能的影响。

图 8 为不同注射速度的 PA6 /GF 微发泡材料的力学性能。由图 8 可知,随着注射速度的提高,PA6 /GF 微发泡材料拉伸强度变化不大。这可能与发泡芯层厚度和结皮厚度随注射速度提高相对变化不大有关。弯曲弹性模量随注射速度的提高而提高,说明注射速度的增加导致泡孔细化后(见图 7),泡孔壁对微发泡材料抵抗外力弯曲变形的支撑作用更好。因此,提高注射速度,有利于改善微发泡材料的刚性。

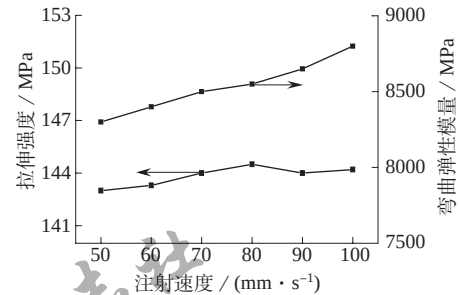
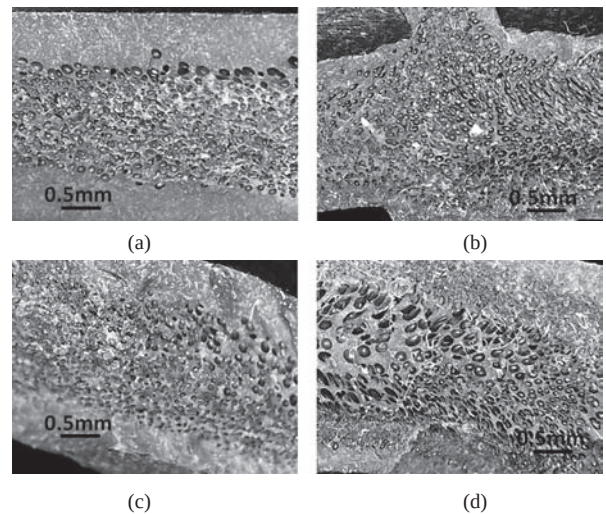


图 8 不同注射速度的 PA6 /GF 微发泡材料力学性能

2.5 模具温度对微发泡材料结构及力学性能影响

(1) 模具温度对泡孔形态和密度的影响。

保持注塑温度为 260℃,注塑压力为 80 MPa,注射速度为 90 mm/s,冷却时间为 3 s,研究了模具温度对 PA6 /GF 微发泡制品泡孔形态的影响,结果如图 9 所示,表 5 列出对应的制品密度。



模具温度: a—50℃; b—60℃; c—70℃; d—80℃

图 9 不同模具温度的 PA6 /GF 微发泡制品横截面泡孔形态

表 5 不同模具温度的 PA6 /GF 微发泡制品饱满程度及密度

项 目	模具温度 / °C			
	50	60	70	80
注满情况	可注满	可注满	可注满	可注满
密度 / (g · cm ⁻³)	1.18	1.16	1.15	1.15

可以发现,提高模具温度,有利于泡孔生长,皮层厚度明显减薄,制品密度有一定下降(见表 5),这

可归因于模具温度升高,减缓了模内熔体的冷却速度,使得物料冷却速度减慢,有效温差降低,这对于化学发泡而言,有利于发泡剂分解更加完全,同时,也有利于已经生成的泡核延长生长期,由此致使发泡材料密度下降,皮层厚度下降。但模具温度超过70℃后(例如80℃,图9d所示),泡孔明显不均匀,说明过高的模具温度会导致气泡在熔体中的生长速度不均,甚至导致破孔串孔等现象,导致气孔尺寸均匀性下降。从图9可以看出,模具温度处于60~70℃时,泡孔基本全为闭孔发泡,泡孔更加均匀、皮层厚度较薄,显示出较好的发泡效果。

(2) 模具温度对力学性能的影响。

图10为不同模具温度的PA6/GF微发泡材料的力学性能。由图10可以看出,随着模具温度的上升,PA6/GF微发泡材料的拉伸强度和弯曲弹性模量均表现出了先增加后降低的趋势,尤其是模具温度超过70℃以后,两者均开始下降。对照图9所示各模具温度下的截面形态,可以看出,模具温度超过70℃后,泡孔明显不均匀,甚至导致破孔串孔等缺陷出现,是导致力学性能下降的主要原因;而模具温度处于60~70℃时,泡孔基本全为闭孔状态,均匀性更好,可有助于力学性能的改善,以及产品质量的减轻。

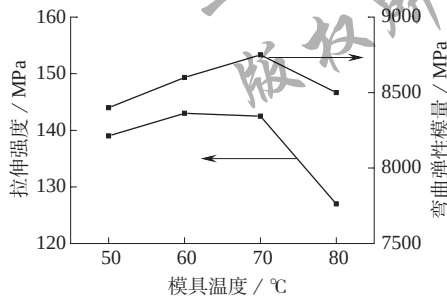


图10 不同模具温度的PA6/GF微发泡材料力学性能

2.6 最优工艺下PA6/GF微发泡材料的性能

通过以上分析,可以获得PA6/GF微发泡材料最佳注塑工艺参数组合为注塑温度260℃,注塑压力80 MPa,注射速度90 mm/s,模具温度为70℃,同时,发泡剂母粒质量分数为2%。表6显示了最优工艺参数设置下,PA6/GF微发泡制件密度及材料拉伸强度和刚性及其与客户性能要求对比,可以发现,在满足轻量化前提下,PA6/GF微发泡材料具有足够强度和刚性,能够满足使用要求。

表6 最优工艺参数设置下PA6/GF微发泡材料性能

项 目	密度/(g·cm ⁻³)	拉伸强度/MPa	弯曲弹性模量/MPa
性能要求	1.36±0.02	≥140	≥7500
性能数据	1.14	145	8500

3 结论

(1) 为获得泡孔形态及表观质量好的PA6/GF微发泡制件,发泡剂母粒质量分数不能超过2%。当发泡剂母粒质量分数为2%时,制件密度可减少18.1%。

(2) 适当提高注塑温度有利于优化泡孔孔径,并降低制件密度,但最高不宜超过260℃,注塑温度过高,易造成破孔和并孔,导致微发泡材料拉伸强度和弯曲弹性模量下降。

(3) 注塑压力低于80 MPa时,制件泡孔形态较好,注塑压力的变化对泡孔形态和密度影响不大,但当注塑压力超过80 MPa后,制件泡孔形态变差,力学性能下降明显。

(4) 适当提高注射速度可优化制件泡孔形态,提高材料弯曲弹性模量,但对制件减重效果影响不大。

(5) 提高模具温度,有利于提高微发泡制件的减重效果,但超过70℃后,微发泡材料拉伸强度和弯曲弹性模量下降明显。

(6) 采用化学发泡注射成型PA/GF微发泡材料时,建议工艺参数设置为注塑温度260℃,注塑压力80 MPa,注射速度90 mm/s,模具温度70℃。

参考文献

- [1] 王利,许贺,苑会林,等. 苯乙烯-马来酐共聚物中空微球在尼龙6轻量化中的应用[J]. 工程塑料应用,2017,45(10):98-102.
Wang Li, Xu He, Yuan Huilin, et al. Application of styrene-maleic anhydride copolymer hollow microspheres on lightweight of nylon 6[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(10):98-102.
- [2] 林刚. 纤维复合材料的多形态化与汽车轻量化[J]. 高科技纤维与应用,2014,39(5):26-33,37.
Lin Gang. Multi-form fiber composites serve light-weight of automotive[J]. Hi-Tech Fiber & Application, 2014, 39(5):26-33,37.
- [3] 吴汾,杜宁宁. 汽车高性能尼龙复合材料的研发[J]. 江苏科技信息,2015(7):45-48,57.
Wu Fen, Du Ningning. The research of high-performance nylon composite materials in auto field[J]. Jiangsu Science & Technology Information, 2015(7):45-48, 57.
- [4] 唐程光,张炳力. 基于车身碰撞性能的玻璃纤维增强尼龙结构应用研究[J]. 汽车实用技术,2016(9):151-153,160.
Tang Chengguang, Zhang Bingli. The application of glass fiber reinforced nylon based on crash performance of the vehicle body[J]. Automobile Applied Technology, 2016(9):151-153, 160.
- [5] 汪多仁. 尼龙塑料在汽车工业中的应用[J]. 汽车与配件, 1998(15):19-24.
Wang Duoren. The application of nylon plastic in automobile industry[J]. Automobile & Parts, 1998(15):19-24.

- [6] 肖艳. 走近车用工程塑料[J]. 上海塑料, 2010(2):48-52.
Xiao Yan. Approaching the vehicle engineering plastics[J]. Shanghai Plastics, 2010(2):48-52.
- [7] 张昕. 汽车轻量化在整车开发中的应用[J]. 科技创新导报, 2016, 13(33):52-53.
Zhang Xin. Application of automobile lightweight in vehicle development[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2016, 13(33):52-53.
- [8] 高阳. 汽车轻量化技术方案及应用实例[J]. 汽车工程学报, 2018, 8(1):1-9.
Gao Yang. Technical schemes and implementation examples of automobile lightweight[J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2018, 8(1):1-9.
- [9] 刘俊聪, 王丹勇, 夏敏, 等. 汽车用改性尼龙研究进展[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(10):100-104.
Liu Juncong, Wang Danyong, Xia Min, et al. Progress in research on modified nylon used in automobile[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(10):100-104.
- [10] 宋吉威, 张纯, 刘卫, 等. 微发泡聚合物材料研究进展[J]. 塑料科技, 2013(11):102-105.
Song Jiwei, Zhang Chun, Liu Wei, et al. Research progress in microcellular polymer material[J]. Plastics Science and Technology, 2013(11):102-105.
- [11] 何亚东. 聚合物微发泡材料制备技术应用研究进展[J]. 塑料, 2004(5):9-15.
He Yadong. Progress of preparation of microcellular polymer foams(MPF)[J]. Plastics, 2004(5):9-15.
- [12] 房研. 应用微发泡注塑工艺的门护板轻量化研究[J]. 汽车工艺与材料, 2018(1):60-63.
Li Yan. Study on lightweight of door guard panel with micro foaming injection molding process[J]. Automobile Technology & Material, 2018(1):60-63.
- [13] 唐锦荣. MuCell 微发泡注塑成型技术应用[J]. 国外塑料, 2011, 29(4):60-61.
Tang Jinrong. Application of MuCell micro foam injection molding[J]. World Plastics, 2011, 29(4):60-61.
- [14] 赵正创, 欧阳春发, 相旭. 微发泡聚合物材料的研究进展[J]. 化工进展, 2016, 35(S1):209-215.
Zhao Zhengchuang, Ouyang Chunfa, Xiang Xu. Research progress in microcellular polymer material[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2016, 35(S1):209-215.
- [15] 刘臻青. 化学微发泡注塑在汽车门内饰板的应用[J]. 汽车工程师, 2017(4):47-50.
Liu Zhenqing. Application of chemical micro foaming injection molding in automobile door trim panel[J]. Automotive Engineer, 2017(4):47-50.
- [16] 张建耀, 张庆录. 汽车内饰用聚丙烯微发泡专用料的研制[J]. 现代塑料加工应用, 2017, 29(6):24-27.
Zhang Jianyao, Zhang Qinglu. Research of the special microfoamed polypropylene compounds for auto interior ornaments[J]. Modern Plastics Progress and Applications, 2017, 29(6):24-27.
- [17] Peng J, Walsh P J, Sabo R C, et al. Water-assisted compounding of cellulose nanocrystals into polyamide 6 for use as a nucleating agent for microcellular foaming[J]. Polymer, 2016, 84:158-166.
- [18] 何孟文, 周岚, 冯新星, 等. 连续挤出法化学发泡尼龙 6 的制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2015, 43(11):11-16.
He Mengwen, Zhou Lan, Feng Xinxing, et al. Preparation and properties of chemical foaming nylon 6 materials manufactured with continuous extrusion[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(11):11-16.
- [19] Zheng Wenge, Lee Y H, Park C B. The effects of exfoliated nano-clay on the extrusion microcellular foaming of amorphous and crystalline nylon[J]. Journal of Cellular Plastics, 2006, 42(4):271-288.
- [20] Hwang S, Liu S, Hsu P P, et al. Effect of organoclay and preparation methods on the mechanical / thermal properties of microcellular injection molded polyamide 6-clay nanocomposites[J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2011, 38(9):1 219-1 225.
-
- (上接第 23 页)
- Qiao Wenyu, Xu Huan, Ma Chao, et al. Research on properties of ABS filament used in 3D printing[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(3):18-23.
- [9] 李军伟, 朱森, 吴湘锋. 空心玻璃微珠填充改性 ABS 复合材料的结构及性能[J]. 塑料工业, 2010, 38(11):24-27.
Li Junwei, Zhu Sen, Wu Xiangfeng. Structure and property of ABS composites filled with hollow glass beads[J]. China Plastics Industry, 2010, 38(11):24-27.
- [10] 唐银花, 李炜, 潘淑婷, 等. 汽车用 PA6 / ABS 共混体系耐刮擦性能研究[J]. 塑料制造, 2014(11):56-60.
Tang Yinhua, Li Wei, Pan Shuting, et al. Effect of formulae of PA6 / ABS blends used for automotive on the anti-scrape property[J]. Plastic Manufacture, 2014(11):56-60.
- [11] 丁志超, 董成磊, 张宁, 等. ABS-g-MAH 对 PC / ASA 合金性能的影响[J]. 现代塑料加工应用, 2013, 25(6):12-14.
Ding Zhichao, Dong Chenglei, Zhang Ning, et al. Influence of ABS-g-MAH on performance of PC / ASA alloy[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2013, 25(6):12-14.
- [12] 周健, 徐泽平, 杨菁菁, 等. 改性 PC / ABS 合金的研究[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(9):25-29.
Zhou Jian, Xu Zeping, Yang Jingjing, et al. Study of modifying PC / ABS alloy[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(9):25-29.